

8a. vaja: MSU – OMEJITEV ŠIRINE RAZPOK

1. TEORETIČNE OSNOVE – RAČUN ŠIRINE RAZPOK SKLADNO S SIST EN 1992-1-1:

V kolikor preverjamo širino razpok, je potrebno v območjih, kjer pričakujemo natezne obremenitve, zagotoviti minimalno količino armature $A_{s,min}$:

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$$

$A_{s,min}$... minimalna količina armature v natezni coni,

A_{ct} ... površina betonskega dela prereza v nategu tik pred nastankom prve razpoke,

σ_s ... največja dovoljena napetost v armaturi takoj po nastanku razpoke ($\sigma_s \leq f_{yk}$),

$f_{ct,eff}$... povprečna natezna trdnost betona ob nastanku prvih razpok ($f_{ct,eff} = f_{ctm}$ oziroma $f_{ct,eff}(t)$, če pričakujemo nastanek prvih razpok pred starostjo betona 28 dni),

k ... koeficient, s katerim upoštevamo vpliv neenakomernih notranjih napetosti:

$$k = \begin{cases} 1.0 & h \leq 300 \text{ mm} \dots (\text{notranje napetosti zaradi zunanjih vplivov}), \\ 0.65 & h \geq 800 \text{ mm} \dots (\text{notranji vplivi - lezenje, krcenje}), \end{cases}$$

k_c ... koeficient, s katerim upoštevamo vpliv narave obremenitve:

$$k_c = \begin{cases} 1.0 & \text{čisti nateg,} \\ 0.4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 & \text{za upogib z osno silo (pravokotni prerezi):} \end{cases}$$

σ_c ... povprečna napetost v betonu: $\sigma_c = N_{Ed} / bh$,

N_{Ed} ... tlačna osna sila v obravnavanem prerezu pri MSU,

$$h^* = \begin{cases} h & h < 1.0 \text{ m,} \\ 1.0 & h \geq 1.0 \text{ m,} \end{cases}$$

$$k_1 = \begin{cases} 1.5 & N_{Ed} \dots \text{tlačna sila,} \\ 2h^* / 3h & N_{Ed} \dots \text{natezna sila,} \end{cases}$$

Račun širine razpoke w_k :

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

ϵ_{sm} ... povprečna deformacija v armaturi,

ϵ_{cm} ... povprečna deformacija v betonu med razpokami:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s ... napetost v natezni armaturi razpokanega prereza pri računski obtežbi za MS razpok,

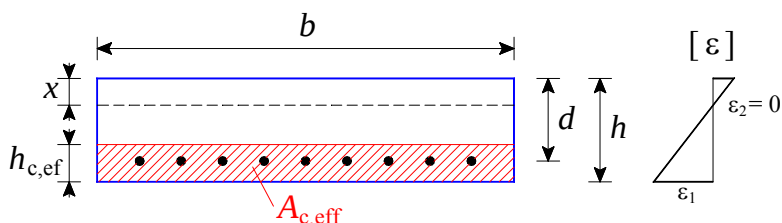
α_e ... razmerje E_s / E_{cm} ,

$$\rho_{p,eff} = \frac{(A_s + \xi_1^2 A_p')}{A_{c,eff}},$$

A_s ... natezna armatura znotraj območja $A_{c,eff}$,

A_p' ... prednapeta armatura znotraj območja $A_{c,eff}$,

$A_{c,eff}$... efektivno območje betona v nategu:



$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} 2.5(h-d), \\ (h-x)/3 \text{ ali } h/2. \end{cases}$$

k_t ... vpliv trajanja obtežbe:

$$k_t = \begin{cases} 0.6 & \text{kratkotrajna obtežba,} \\ 0.4 & \text{dolgotrajna obtežba,} \end{cases}$$

$s_{r,max}$... največja razdalja med razpokami:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}, \text{ če je razmik med arm. palicami } \leq 5(c + \phi/2)$$

ϕ ... premer armaturne palice,

c ... debelina zaščitnega sloja betona,

k_1 ... vpliv sprijemnih lastnosti armature:

$$k_1 = \begin{cases} 0.8 & \text{rebrasta armatura,} \\ 1.6 & \text{armatura z gladko površino,} \end{cases}$$

k_2 ... vpliv razporeditve deformacij po prerezu:

$$k_2 = \begin{cases} 0.5 & \text{upogib,} \\ 1.0 & \text{čisti nateg,} \\ (\epsilon_1 + \epsilon_2)/2\epsilon_1 & \text{ekscentrični nateg,} \end{cases}$$

k_3 ... priporočljiva vrednost je 3.4,

k_4 ... priporočljiva vrednost je 0.425.

$$s_{r,max} = 1.3(h-x), \text{ če je razmik med arm. palicami } > 5(c + \phi/2)$$

Kombinacije vplivov za MSU:

Karakteristična: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$

Pogosta: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$

Navidežno stalna: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$

Največja dovoljena računska širina razpoke:

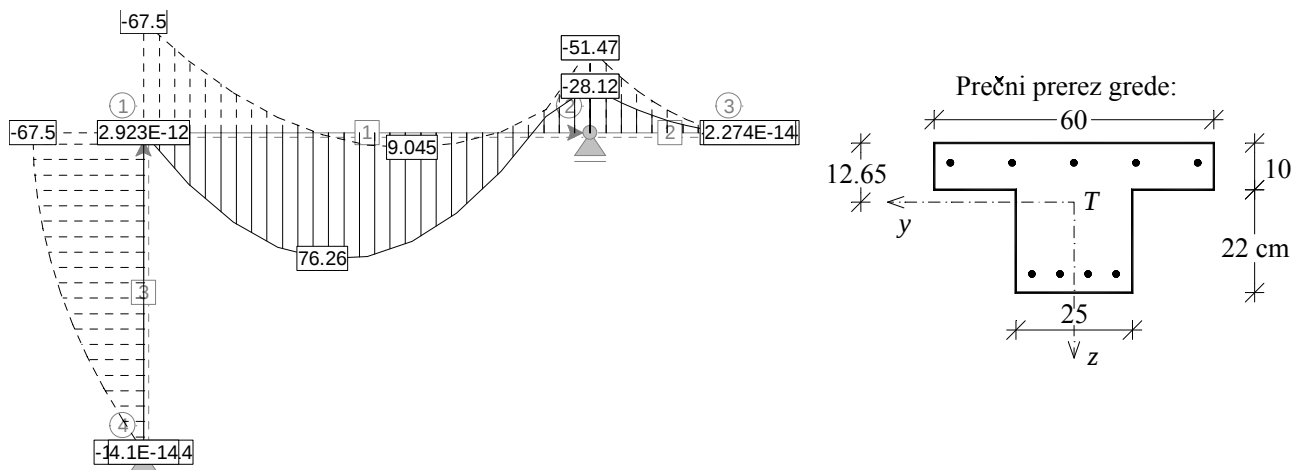
Razred izpostavljenosti	AB elementi in PB elementi z nepovezanimi kabli	PB elementi s povezanimi kabli
	navidežno stalna kombinacija obtežbe	pogosta kombinacija obtežbe
X0, XC1	0,4	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		dekompresija

2. RAČUNSKI PRIMER

2.1. Dimenzioniranje prereza pri osno-upogibni obremenitvi

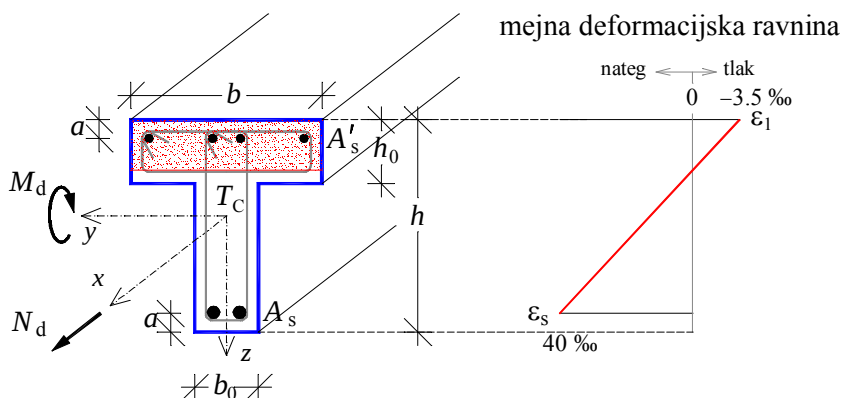
2.1.1. Dimenzioniranje grede iz 5.naloge - v polju ($M_{d,max}$)

[M_{Ed}]



Uporabljeni materiali:

- beton C30/37: $f_{ck} = 2.5 \text{ kN/cm}^2$, $f_{ctm} = 0.26 \text{ kN/cm}^2$, $E_{cm} = 3100 \text{ kN/cm}^2$
- armatura S 500 B (rebraste arm. palice): $f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$, $E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$



geometrijska parametra prereza:

$$\frac{b_0}{b} =$$

$$\frac{h_0}{h} =$$

Dimenzioniranje armature s pomočjo interakcijskega diagrama mejne nosilnosti prečnega prereza T oblike:

Izberemo 6Ø12 ($A_{s,dej} = 6.78 \text{ cm}^2$)

2.2. MSU – mejno stanje razpok za grede v polju

2.2.1. Obremenitev prereza v polju grede za navidezno stalno kombinacijo vplivov:

$$M_{Ed} = M_g + \psi_{2,s} \cdot M_s + \psi_{2,w} \cdot M_w = 41.7 + 0 \cdot 13.3 + 0 = 41.7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed, prip} = 0 \text{ kN}$$

2.2.2. Minimalna natezna armatura $A_{s,min}$:

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = 0.4 \cdot 0.986 \cdot 0.26 \cdot 488 \cdot \frac{1}{50} = 1.0 \text{ cm}^2$$

(i) račun k_c :

$$k_c = 0.4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] = 0.4 [1 - 0] = 0.4$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = 0$$

(ii) račun k :

$$h = 320 \text{ mm} \rightarrow \text{z linearno interpolacijo } k = 0.986$$

(iii) račun $f_{ct,eff}$:

$$t \geq 28 \text{ dni} \rightarrow f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0.26 \text{ kN/cm}^2$$

(iV) račun A_{ct} :

napetost na spodnjem in zgornjem robu nerazpokanega prereza

$$\left(\frac{M}{N} \right)_{\text{pred nastankom razpok}} \approx \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}:$$

$$\sigma_{c,sp} = \frac{\lambda \cdot N_{Ed}}{A} + \frac{\lambda \cdot M_{Ed}}{I} z_{sp} = 0 + \frac{\lambda \cdot 4170}{100644} \cdot 19.35 = \lambda \cdot 0.80 \text{ kN/cm}^2, \lambda < 1$$

$$\sigma_{c,zg} = \frac{\lambda \cdot N_{Ed}}{A} - \frac{\lambda \cdot M_{Ed}}{I} z_{zg} = 0 - \frac{\lambda \cdot 4170}{100644} \cdot 12.65 = \lambda \cdot (-0.52 \text{ kN/cm}^2), \lambda < 1$$

$$\text{delež prereza v nategu: } \frac{0.80}{0.80 + |-0.52|} h = 0.61 h \rightarrow A_{ct} = 0.61 h \cdot b_{sp} = 488 \text{ cm}^2$$

(iV) račun σ_s :

$$\sigma_s = f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

2.2.3. Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$):

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{23.52 - 0.4 \frac{0.26}{0.0308} (1 + 6.45 \cdot 0.0308)}{20000} = 0.00097 \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00071$$

(i) račun napetosti v natezni armaturi σ_s pri obtežbi za MS razpok (ocena: $z = d - x/3$):

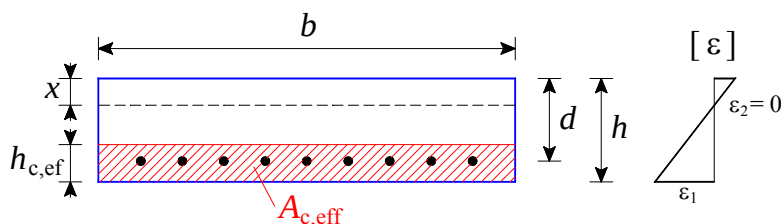
$$\sigma_s = \frac{N_{Ed}}{A_s} + \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_s}{z \cdot A_s} = \frac{0}{6.78} + \frac{(41.7 + 0 \cdot 0.1535) \cdot 100}{(28 - 5.55/3) \cdot 6.78} = 23.52 \text{ kN/cm}^2$$

(ii) račun k_t :

$$\text{dolgotrajna obtežba} \rightarrow k_t = 0.4$$

(iii) račun $\rho_{p,eff}$:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,ef}} = \frac{6.78}{25 \cdot 8.8} = 0.0308$$

za oceno x -a (lege nevtralne osi) uporabimo naslednji izraz (velja za pravokotni prečni prerez!):

$$x = \frac{1}{b} \left(-\alpha_e A_s + \sqrt{\alpha_e A_s \sqrt{2bd + \alpha_e A_s}} \right) = \frac{1}{60} \left(-6.45 \cdot 6.78 + \sqrt{43.73 \sqrt{3360 + 43.73}} \right) = 5.70 \text{ cm}$$

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} 2.5(h-d) = 10 \text{ cm} \\ (h-x)/3 = 8.8 \text{ cm} \end{cases}$$

(iV) račun α_e :

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{20000}{3100} = 6.45$$

2.2.4. Največja razdalja med razpokami $s_{r,max}$, če je razmik med arm.palicami $\leq 5(c + \phi/2) = 15.5 \text{ cm}$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3.4 \cdot 2.5 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \frac{1.2}{0.0308} = 15.1 \text{ cm}$$

(i) ocenimo debelino zaščitnega sloja betona: $c \approx 2.5 \text{ cm}$ (ii) $k_1 = 0.8$ – rebrasta armatura(ii) $k_2 = 0.5$ – upogibna obremenitev(iii) priporočljive vrednosti: $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$ (iV) premer izbrane armaturne palice: $\phi = 1.2 \text{ cm}$ 2.2.5. Računska širina razpok w_k :

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 15.1 \cdot 0.00097 = 0.0146 = 0.15 \text{ mm} < w_{max} = 0.3 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$